

Neue Möglichkeiten zur Evaluierung des Stallklimas und Optimierung des Lüftungsmanagements mittels Thermografie

E. ZENTNER

Einleitung

Das Stallklima im Allgemeinen und das Lüftungsmanagement im Besonderen gelten unbestritten zu den wesentlichsten Faktoren im Hinblick auf Leistung, Tiergesundheit und Wohlbefinden der landwirtschaftlichen Nutztiere. Die Funktion jeder Lüftungsanlage, egal in welcher Tierhaltung, besteht in erster Linie darin, Frischluft zuzuführen, diese so gleichmäßig als möglich in den Tierbereich abzugeben und wieder nach außen abzutransportieren, ohne dass es dabei für die Tiere zu schädlicher Zugluft kommt.

Die Abteilung Stallklimotechnik und Nutztierschutz der HBLFA Raumberg – Gumpenstein versucht in ihren zahlreichen Betriebsbesuchen in ganz Österreich, sowohl im Rahmen von Projekten aber auch auf Bitte von Tierärzten, Beratern oder Landwirten, Fehlfunktionen der oa. Parameter auf den Grund zu gehen und wenn möglich, Lösungen zuzuführen.

Stallklima

Speziell Schweine reagieren mit typischen Verhaltensmerkmalen auf mangelhafte Stallklimabedingungen (BÜSCHER 2003). Die Lüftungsanlagen samt Heizungstechnik sollten so gesteuert werden, dass sich die Tiere, ihrer Art entsprechend, wohlfühlen und ihr genetisches Potential bestmöglichst ausschöpfen können.

Zu den absoluten Mindestanforderungen zählt jedoch die Einhaltung des physiologisch notwendigen Luftbedarfes der Tiere und die damit verbundene Ausschaltung von Zugluft oder hohen Luftgeschwindigkeiten im Tierbereich. Diese Anforderungen sind in allen Nutztierschutznormen und Gesetzen verankert

und stellen bei Nichteinhaltung sogar eine Verwaltungsübertretung dar.

Im Sommer und Winter werden an eine Lüftungsanlage unterschiedliche Anforderungen gestellt. Während im Winter die spezifisch schwerere und sehr viel kältere Außenluft nicht unmittelbar in den Tierbereich gelangen soll und das Hauptaugenmerk bei der Minimierung der Wärmeverluste durch die Lüftung liegt, versucht man im Sommer gerade mittels Luftbewegung im Tierbereich den Wärme(ab)transport zu verbessern, um zu großen Hitzestress für die Tiere zu verhindern.

Besonders die hohen Temperaturen führen oft zu bedrohlichen Situationen, weil die meisten Tiere über eine äußerst geringe Hitzetoleranz gegenüber einer relativ großen Toleranz gegenüber Kälte verfügen. Ob es in einem Stall zu Zuglufterscheinungen kommt, hängt in erster Linie von der Zuluftführung, sprich Zuluftteinrichtungen, ab.

Problemstellung

Die Untersuchungen hinsichtlich des Klimas von Stallungen und Abteilen bis zu einer Größe von etwa 200m² speziell auf schweinehaltenden Betrieben stellen in der Vergangenheit keine großen Probleme dar.

Vor allem der Einsatz von Nebelmaschinen und der daraus entstehende Rauch gaben wertvolle Erkenntnisse im Aufspüren von Fehlern im Lüftungsmanagement und Ausführungsfehlern von Zuluftteinheiten. Obwohl in sehr vielen Fällen die Mängel offensichtlich sind (*Abbildung 1*) werden grundlegende Regeln für die Gewährleistung einer zugluftfreien Einbringung von Frischluft nicht eingehalten.

Mehr als bedenklich erscheint, dass es vor allem bei Porendecken immer wieder

zu erheblichen Ausführungsfehlern kommt (*Abbildung 2*), obwohl seit mehr als 25 Jahren Vorlagen und Regelwerke im Umlauf sind und in unzähligen Vorträgen und Publikationen darauf hingewiesen wird, um exakt diese Fehler zu verhindern.

Die Strukturänderungen der heimischen Landwirtschaft - viele kleine Betriebe sperren zu und die verbleibenden versuchen zu expandieren - stellen neue Anforderungen an die Messtechnik. Während in der Rinderhaltung die Tendenz eindeutig in Richtung Laufstall – Kaltstall geht, ist man in der Schweinehaltung mit immer größer werdenden Gebäuden und Abteilen konfrontiert. Mit der bis dato eingesetzten Technik, sprich Nebelgerät, stößt man dabei sehr schnell auf Grenzen, die keine klaren und exakten Aussagen über tatsächliche Ausführungsmängel von Zuluftteinheiten mehr



Abbildung 1: Dämmung nach Elektroinstallation nicht wieder hergestellt



Abbildung 2: T-Träger nicht ordnungsgemäß ausgeführt

Autor: Eduard ZENTNER, Abteilung für Stallklimotechnik und Nutztierschutz, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, A-8952 IRDNING

zulassen. Speziell die Entnahme von Zuluft aus dem Dachraum, dieser erschließt sich meistens über das gesamte Stallgebäude und über alle Abteile hinweg (Abbildung 3), stellt die Techniker vor zunehmende Probleme. Um den Nebel mit der Zuluft überhaupt in die Abteile gelangen zu lassen, sind große Mengen desselben von Nöten, wobei bei Eintreten des Nebels durch die Zuluftöffnungen wie Porendecke, Lochplatten oder Rieseldecke, nur eine Momentaufnahme möglich ist. Neue Nebelgeräte mit gekühltem Nebel, welcher im Dachraum nicht aufsteigt sondern sich auf Grund des Temperaturunterschiedes über der Zuluftdecke ausbreitet, bringen nur bedingt Abhilfe. Exakte Aussagen über die Gesamtsituation sind auch in diesem Fall unmöglich.

Die Folgen eines schlechten Lüftungsmanagements haben aber nicht nur Auswirkungen in den Abteilen und damit auch auf den Tierbestand, die Konsequenz ist auch eine Zurücknahme der Luftratzen und damit der Luftgeschwindigkeit an den Abluftöffnungen. Im Hinblick auf die Problematik der Immissionen für benachbarte Grundstücke und Widmungskategorien erhält diese Thematik zusätzliches Gewicht.

Die HBLFA Raumberg – Gumpenstein war aus diesem Grund verstärkt auf der Suche nach neuen Möglichkeiten, um wirklich exakte und vor allem auch dokumentierbare Aussagen über Fehler bei Lüftungssystemen machen zu können. Da Lüftungsfehler im Zuluftsystem in fast allen Fällen mit Auftreten von hohen Luftgeschwindigkeiten und damit verbundenen Temperaturunterschieden einher gehen, fiel unsere Wahl auf die

Infrarotthermografie. Zur Detection von Luftundichtheiten, sprich Kältebrücken, wird bei dieser Technik seit geraumer Zeit das „Blower Door Verfahren“ eingesetzt. Zu diesem Zweck werden in Räumen mittels Unterdruck undichte Stellen und das Eintreten von kalter Luft sichtbar gemacht. Diese Parallelen waren der Link von der Gebäudethermografie zum Einsatz dieser Technik in Stallungen. Bis zur Anschaffung dieser an und für sich doch kostenintensiven Technik vergingen weitere zwei Jahre von der Genehmigung bis zur Finanzierung durch die Dienststelle.

Technik

Geschichte

Der Astronom Friedrich Wilhelm (Sir William) Herschel entdeckte im Jahr 1800 die infrarote Strahlung. Da er seine Teleskope selbst baute, war er mit optischen Komponenten wie Linsen und Spiegeln bestens vertraut. Herschel wusste, dass das Sonnenlicht alle Farben des Spektrums enthält und zudem eine Wärmequelle ist, und wollte nun herausfinden, welche Farben für die Erwärmung von Objekten verantwortlich sind.

Dazu ersann er ein Experiment, in dem er ein Prisma, Pappe und Thermometer mit geschwärzten Kolben verwendete, um die den verschiedenen Farben entsprechenden Temperaturen zu messen. Herschel beobachtete in seinem Experiment einen Anstieg der Temperatur, wenn er das Thermometer vom violetten in den roten Bereich des Farbspektrums bewegte, das er durch die Aufspaltung des Sonnenlichts mit einem Prisma erzeugt hatte. Dabei stellte er fest, dass

die höchste Temperatur jenseits des roten Farbbereichs gemessen wurde - die Strahlung, die diese Erwärmung verursachte, war nicht sichtbar. Herschel bezeichnete diese unsichtbare Strahlung damals als „calorific rays“ (Wärmestrahlen). Heute kennen wir sie als Infrarotstrahlung.

Allgemein

Thermografie ist die optische Darstellung der Wärmeverteilung auf Oberflächen. Dabei macht sich die Thermografie die Tatsache zunutze, dass alle Gegenstände in Umgebungen mit Temperaturen über dem absoluten Nullpunkt (-270 °C) Strahlen in Form elektromagnetischer Wellen aussenden (Wärmestrahlen). Diese werden durch die vom Körper produzierte Eigenwärme und durch von anderen Körpern reflektierende Wärmemengen verursacht. Diese Strahlen werden mit Hilfe einer Wärmebildkamera erfasst und auf einem Monitor als sichtbares Bild, das Thermogramm, dargestellt.

Da die Strahlungsintensität von der Temperatur des strahlenden Körpers abhängt, lassen sich den von der Kamera erfassten Signalen entsprechende Temperaturen zuordnen. Diese werden dann auf dem Thermogramm durch unterschiedliche Farben oder Grautöne sichtbar gemacht (z. B. hell entspricht „warm“, dunkel entspricht „kalt“). Die Thermografie ist nun in der Lage, diese Thermogramme richtig zu deuten und z. B. in der Bauhermografie sogenannte Wärmelöcher an Außenwänden von Gebäuden zu erkennen und deren genaue Lage zu ermitteln. Weiterhin können beispielsweise Heiz- und Wasserleitungen in Wand und Boden verfolgt werden und Leckagen geortet werden.

Das Einzigartige dieses Verfahrens ist, dass das zu untersuchende Objekt nicht verändert wird, da die Messung völlig berührungslos erfolgt. Dies ist z. B. bei der Thermodiagnose an elektrischen Anlagen von großer Bedeutung, da eine problemlose Inspektion der gesamten Anlage unter Betriebsbedingungen, also unter Last, ermöglicht wird.

Ein Problem mit einer Infrarotkamera zu entdecken, reicht manchmal nicht aus. Denn ein Infrarotbild allein, ohne exakte Temperaturmessungen, sagt nur we-



Abbildung 3: Zunehmend größer dimensionierte Stallungen mit sehr großen Dachräumen

nig über den Zustand einer elektrischen Verbindung oder eines überlasteten mechanischen Teils aus. Viele elektrische Komponenten arbeiten korrekt bei Temperaturen, die deutlich über der Umgebungstemperatur liegen. Ein Infrarotbild ohne Temperaturmessung kann irreführen, da es gegebenenfalls visuell auf ein Problem deutet, das tatsächlich nicht existiert.

Mit Infrarotkameras, in die Funktionen zur Temperaturmessung integriert sind, können professionelle Anwender in der vorbeugenden Instandhaltung fundierte Urteile zum Betriebszustand elektrischer und mechanischer Bestandteile abgeben. Temperaturmessungen können mit vor längerer Zeit gemessenen Betriebstemperaturen oder mit thermischen Werten ähnlicher Betriebsmittel zur selben Zeit verglichen werden. Dadurch lässt sich bestimmen, ob ein deutlicher Temperaturanstieg die Zuverlässigkeit von Komponenten oder die Anlagensicherheit beeinträchtigt.

Einsatzmöglichkeiten

Neben den durchaus bekannten Einsatzmöglichkeiten in der Instandhaltungs- und Gebäudethermografie (Abbildung 4) kommt die Infrarottechnik vermehrt in der Human- und Veterinärmedizinischen Forschung zum Einsatz. Durchaus bekannt sein dürfte auch der Einsatz von Infrarotkameras auf Flughäfen zur Fiebererkennung an Menschen (Abbildung 5) nach Grippeepidemien in Urlaubsländern. In der Veterinärmedizin geht die Richtung in Eruiierung von Gelenkentzündungen, Durchblutungsstörungen und Trächtigkeitsuntersuchungen an Tieren. Erste Untersuchungen zu diesen Ansätzen an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein laufen bereits. Die Fiebererkennung an den immer größer werdenden Gruppen in der Tierhaltung könnte somit durchaus auch eine Alternative zur prophylaktischen Beigabe von Medikamenten zur Fütterung in der Tierhaltung sein.

Eingesetzte Technik

Die sehr handliche Kamera (Abbildung 6) mit einem Gewicht von 1,40 kg ermöglicht Anwendungen in zwei Temperaturbereichen von -40° bis $+500^{\circ}$.

Die verwendete Technik zeichnet sich besonders durch hochaufgelöste 14-Bit



Abbildung 4: Herkömmliche Gebäudethermografie

Wärmebilder aus. Gleichzeitig werden mit ihrer eingebauten Digitalkamera Tageslichtbilder der gleichen Szene erstellt. Dies ist insbesondere bei der Dokumentation und Berichterstellung ein wertvolles Instrument.

Durch einen zusätzlich eingebauten Laserpointer mit integrierter Temperaturanzeige, der über einen Tastendruck auch während der thermografischen Aufzeichnungen zu aktivieren ist, lassen sich eruierte Problemstellen auch an unzugänglichen Stellen zuordnen.

Um unseren Anforderungen auch zu genügen, ist diese Kamera gemäß Schutzart IP 54 ausgelegt. Sie ist somit gegen Stöße und Vibrationen, vor allem aber auch gegen Staub und Spritzwasser geschützt. Dies ist insbesondere bei Messungen in der Nutztierhaltung eine unerlässliche Ausstattung.

Für die Bildbetrachtung vor Ort bietet sich neben einem hochauflösenden TFT Farbsucher auch die Möglichkeit einer abnehmbaren Fernsteuerung, die mit einem Flüssigkristallbildschirm ausgestattet ist. Dies erleichtert die Arbeit vor allem an unzugänglichen oder schwer erreichbaren Messstellen

Um auch geringe Temperaturunterschiede zu erkennen, ist die Kamera mit einem ungekühlten Mikrobolometer ausgestattet, der Unterschiede bis $0,08^{\circ}\text{C}$ erkennen lässt.

Die Energieversorgung der Kamera übernehmen Lithium – Ionen Akkus, die einen unabhängigen Betrieb von bis zu zwei Stunden gewährleisten. Die Aufladung der Akkus ist günstigerweise auch mit einem Adapter im KFZ möglich.

Praktisch angeordnete Tasten und ein Joystick steuern alle Kamerafunktionen und ermöglichen einfaches Anvisieren und Aufzeichnen. Funktionen für Auto-

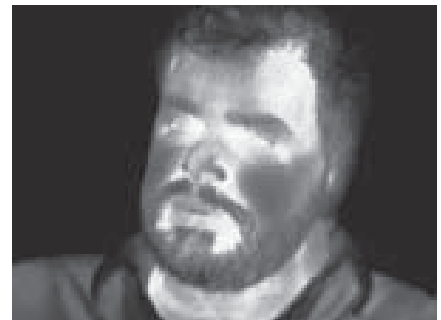


Abbildung 5: Fiebererkrankungen werden auf Flughäfen kontrolliert



Abbildung 6: Sehr handliche Wärmebildkamera mit abnehmbarer Fernbedienung



Abbildung 7: Digitales Tageslichtbild von Zuluftseinheit

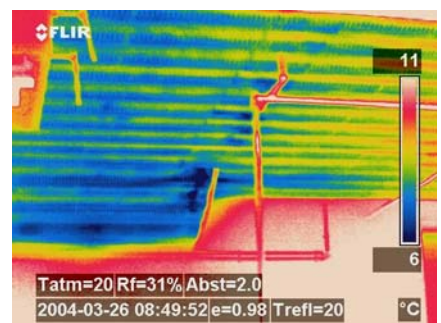


Abbildung 8: Wärmebild von Bild 7 mit deutlich erkennbaren Ausführungsfehlern

fokus, Einfrieren und Speichern von Bildern liegen übersichtlich nebeneinander.

Mit einer Infrarot-Schnittstelle lässt sich eine drahtlose Verbindung zu einem PC herstellen, über welche die Bilder vom

Tabelle 1: Technische Daten, Flir ThermoCam P60

Bildleistung Wärmebildkamera	
Sehfeld / min. Fokussentfernung	24 ° x 18 ° / 0,3 m
Geometrische Auflösung (IFOV)	1,3 mRad
Thermische Empfindlichkeit	0,08 °C bei 30 °C bei Standard 50 Hz
Bildwiederholfrequenz	50/60 Hz non-interlaced
Fokus	Automatisch oder manuell
Elektronische Zoom-Funktion	2,4 interpoliert
Detektortyp	patentierter, ungekühlter Mikrobolometer, 320 x 240 Pixel
Spektralbereich	7,5 bis 13 µm
Digitale Bildverbesserung	normal/enhanced
Tageslichtkamera	
Eingebaute digitale Videokamera	640 x 480 Pixel in Farbe
Bildarstellung	
Videoausgang	EU Standard PAL, Standard Composite Video, S-Video
Bildanzeige	Eingebauter hochauflösender Farb-TFT-Sucher inkl. integriertes 4" LCD in einer Multifunktionsfernsteuerung
Messung	
Temperaturbereich	- 40 °C bis + 120 °C Bereich 1, 0 °C bis + 500 °C Bereich 2, bis + 1500 °C oder bis + 2000 °C optional
Genauigkeit	± 2 °C, ± 2 %
Messfunktion	bis zu 10 bewegliche Messpunkte, „Auto-Spot-Funktion“ Automat. Messen der wärmsten oder kältesten Temperatur als Punkt aus einem definierbaren Bereich, fünf frei wählbare Bereiche als Kreis oder Rechteck mit Anzeige der Maximal-, Minimal- oder Durchschnittstemperatur, zwei Isotherme gleichzeitig im Bild auch halbtransparent, Temperaturprofil, Differenztemperaturanzeige
Korrektur des atmosphärischen Einflusses	automatisch, basiert auf den Eingaben für Entfernung, atmosphärischer Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit
Korrektur des Transmissionsgrades der Optiken	automatisch, basierend auf Signalen von internen Sensoren
Reflektierte Umgebungstemperatur	automatisch, nach der Eingabe der Daten
Externe Optik oder Fenster-Korrektur	automatisch, basierend auf Signalen aus den verwendeten Optiken bzw. Fenstern
Korrektur des Emissionsgrades	variabel von 0,1 bis 1,0 oder Auswahl aus Listen der in der Kamera hinterlegten vom Nutzer definierbaren Tabellen
Bildspeicherung	
	Hochleistungs-PCMCIA-Wechselspeicher (128 MB), FLASH Memory (ca. 50 Bilder) in der Kamera
Dateiformat Infrarot	Standard JPEG in 14 Bit mit allen Messdaten integriert
Dateiformate - Tageslichtkamera	Standard JPEG inklusive beweglichem Anzeiger
Sprachaufzeichnung	30 Sek. digitaler Sprach „clip“ im Bild verknüpft gespeichert
Textkommentare	vordefinierte Texte mit dem Bild verknüpft gespeichert
Systemstatusanzeige	
LCD-Display	Anzeige von Batteriestatus, Bildspeicher, Versorgungsanzeige im LCD-Display
Laser Locatir	
Klassifikation des Laser	Klasse 2
Type	Semiconductor AlGaInP Dioden Laser: 1 mW/635 nm rot
Batteriesystem	
Type	Schnellladender, vor Ort wechselbarer Lithium-Ionen-Akku
Betriebszeit	2 Stunden Dauerbetrieb
Ladesystem	in der Kamera mit dem Netzteil oder 12 V im Auto aufladbar, intelligente Ladestation für 2 Batterien, 12 V
Netzbetrieb	Netzadapter 90-260 V AC, 50/60 Hz, 12 DC Ausgangsspannung 11 - 16 V DC
Einsatzzeitverlängerung	automatisches Abschalten und Schlafmodus (frei einstellbar)
Umgebungsbedingungen	
Betriebstemperaturbereich	- 15 °C bis + 50 °C
Lagertemperaturbereich	- 40 °C bis + 70 °C
Luftfeuchtigkeit	Betrie und Lagerung 10 % bis 95 %, nicht kondensierend
Schutzart des Gehäuses	IP 54 IEC 529
Stöße	Betrieb: 25 G, IEC 68-2-29
Vibration	Betrieb: 2 G, IEC 68-2-6
Physikalische Kenndaten	
Gewicht	1,4 kg inklusive Batterie, 1,2 kg ohne Batterie
Abmessungen	100 mm x 120 mm x 220 mm
Stativmontage	1/4" - 20
Schnittstellen	
USB /RS-232	Bildübertragung direkt zum PC
IrDA	Kabellose Kommunikation mit der Kamera
Multifunktionsfernsteuerung	Tragegriff mit Videokamera, Laser LocatIR und LCD-Bildschirm

internen Speicher der Kamera auf den PC übertragen werden können.

Die Kamera speichert Bilder als vollständig radiometrische JPEG- Dateien. Diese Bilder werden zusammen mit Messungen, gesprochenen und/oder schriftlichen Kommentaren entweder auf einer austauschbaren, kompakten Flash Karte oder im internen Speicher der Kamera gesichert. Die eingebaute Software ist mittels Tasten und Joystick ähnlich einer Windows Oberfläche sehr einfach zu bedienen. Zur exakten Messung lassen sich Isothermen in Form von Kreisen, Rechtecken oder Linien hinzufügen und sind auf der Oberfläche mittels Joystick verschiebbar.

Technische Daten

Flir ThermaCam P60 (siehe *Tabelle 1*)

Ergebnisse

Die ersten Bilder, aufgenommen in einem Schweinebetrieb, übertrafen all unsere Erwartungen (*Abbildungen 7* und *8*). Mit dieser neuen Technik konnten wir uns innerhalb kürzester Zeit einen Über-

blick über das gesamte Abteil im Hinblick auf Zuluftsysteme und deren Ausführungsmängel verschaffen.

Der große Vorteil im Gegensatz zu einer Nebelmaschine bestand, wie erhofft, in der Dokumentierbarkeit und der Möglichkeit zur Archivierung der Wärmebilder. Zusätzlich beeindruckten die am Bildschirm angezeigten Temperaturunterschiede in den Abteilen.

Die Vielfalt an Erkenntnissen ist beeindruckend. Luftkurzschlüsse an Ventilatoren, Falschlufte aus Entmistungsschächten mit fatalen Folgen für die Tiere traten zu Tage, Wärmebilder von Ferkelnestern zeugten von schlechtem Wasserdurchsatz und unterschiedlicher Wärmeleitfähigkeit der Materialien.

Ein großer Vorteil bei den Untersuchungen ist die Ausstattung der Kamera mit dem Laserpointer mit eingebauter Temperaturanzeige. Hiermit kann die fehlerhafte Stelle lokalisiert, vom Landwirt markiert und anschließend Position für Position saniert werden. Durch die beeindruckende Dokumentierung von Lüf-

tungsfehlern durch die Infrarottechnik ist auch ein steigendes Problembewusstsein der Landwirte zu beobachten.

Weitere Erkenntnisse sind auf Grund erster Bilder in den Bereichen der Heubelüftung, in der Rundballentrocknung, der Wärmeentwicklung von Silage und Kompostmieten zu erwarten.

Veterinärmedizinische Untersuchungen im Hinblick auf Gelenks- und Verletzungsentzündungen sind an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein bereits im Laufen.

Literatur

BÜSCHER W.: Planungsansatz und aktuelle Entwicklungen im Bereich der Stallklimotechnik, Bericht über die Gumpensteiner Bautagung, 2003, S 81 - 86.

HAUSLEITNER A.: Beurteilung unterschiedlicher Zuluftsysteme, Bericht über die Gumpensteiner Bautagung 1997, S 67 - 72.

ZENTNER E. Stallklima und Tiergesundheit - Überblick über die Zuluftsysteme in Schweineställen, Tagung über Gebäude in tierzüchterischen Betrieben, Slowenien, 2003.

FLIR: Internetrecherche auf www.flirthermography.de